
ARTÍCULO

Óscar Armando Rico Galeana

POTENCIAL DE LA DEMANDA DE VIAJE COMO VARIABLE EXPLICATIVA DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TRANSPORTE AÉREO EN EL TERRITORIO MEXICANO

Revista Transporte y Territorio N° 2, Universidad de Buenos Aires, 2010.



Revista Transporte y Territorio
ISSN 1852-7175
www.rtt.filo.uba.ar

Programa Transporte y Territorio
www.ptt.filo.uba.ar
Instituto de Geografía
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Buenos Aires



Cómo citar este artículo:

Rico Galeana, Óscar Armando. Potencial de la demanda de viaje como variable explicativa de la distribución espacial del transporte aéreo en el territorio mexicano. *Revista Transporte y Territorio*, N° 2, Universidad de Buenos Aires, 2010. pp. 6-17. <www.rtt.filo.uba.ar/RTT00202006.pdf>

Recibido: 12 de octubre de 2008
Aceptado: 1 de febrero de 2010



Potencial de la demanda de viaje como variable explicativa de la distribución espacial del transporte aéreo en el territorio mexicano.

[Óscar Armando Rico Galeana](#)¹

RESUMEN

Se presenta un análisis de los resultados de un conjunto de investigaciones que han utilizado modelos gravitacionales para estudiar la distribución espacial de viajes de pasajeros y carga por el modo de transporte aéreo en México. Los resultados muestran consistentemente que la intensidad del flujo de pasajeros y carga es independiente de la distancia euclidiana que separa a los orígenes y destinos de viaje. En nuestra opinión, este resultado se puede considerar una peculiaridad del transporte aéreo que resulta de interés académico por varias razones, unas relacionadas en general con el marco teórico de la geografía del transporte, y otras relacionadas más específicamente con la planificación del transporte y su modelación matemática.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the results obtained in a set of research works in which gravity models have been used for the study of passengers and cargo trips distribution by air transportation in Mexico. Results show consistently that the passenger and cargo flow intensity is independent of the Euclidian distance between the trips origin and destination. It is our opinion that this result can be considered a peculiarity of air transport which is of academic interest for several reasons, some of them related to the transport geography theoretical framework, and others related more specifically to transport planning and modeling.

Palabras Claves: Distancia de viaje; Modelo gravitacional; Transporte aéreo.

Palavras-chave: Distância da viagem; Modelo gravitacional; Transporte aéreo.

Keywords: Travel distance; Gravity model; Air transportation.

1. ANTECEDENTES

En su libro de geografía del transporte, Hoyle y Knowles (1992) sostienen dos afirmaciones que ellos consideran cardinales en el estudio espacial del transporte: “la movilidad es una actividad – necesidad humana fundamental”, “que es restringida por la fricción de la distancia”.

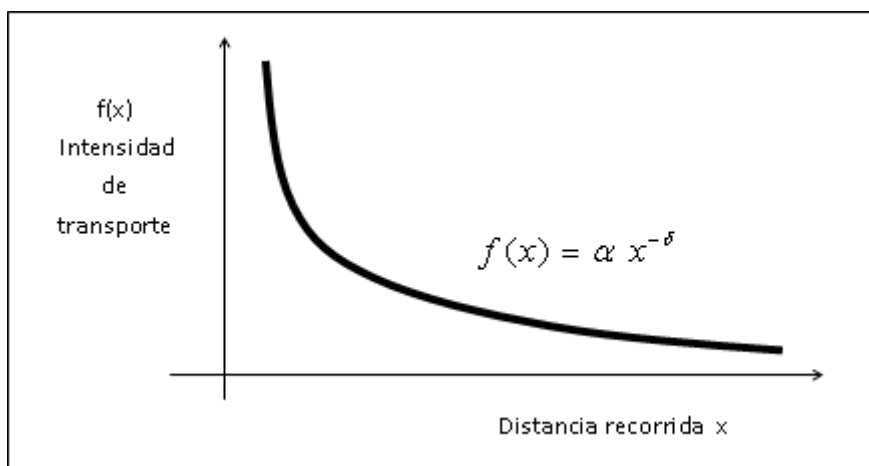
Gracias a la universalidad, tanto de la necesidad de movimiento, como del esfuerzo necesario para superar el espacio, las dos aseveraciones de Hoyle y Knowles son intuitivamente evidentes. Existe una fuerte evidencia empírica de la imperiosa necesidad del movimiento y de lo inevitable de consumir recursos para modificar la posición en el espacio de personas u objetos.

Cada movimiento implica un esfuerzo. *Ceteris paribus*, mayor movimiento requiere mayor esfuerzo; a mayor distancia recorrida, mayores recursos consumidos. Como los recursos disponibles son finitos, la cantidad de movimientos efectuados suelen ser menores conforme crecen las distancias por recorrer. Lo anterior se expresa mediante una típica relación decreciente entre la intensidad de transporte y la distancia recorrida, donde la separación física “actúa” como un factor disuasivo a la movilidad, esto es como una impedancia al desplazamiento (Fig. 1).

¹ Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México. orico@imt.mx



Figura 1: Relación típica entre la intensidad de transporte y la distancia recorrida.



La relación entre distancia y movilidad ha sido objeto de estudio de la geografía desde principios del siglo XIX (Potrykowski y Taylor, 1984), al principio como elemento explicativo de la organización espacial de las actividades, por ejemplo, en las llamadas teorías clásicas de la localización de von Thünen (1828), Weber (1909) y Christaller (1933), y posteriormente dentro de los modelos de interacción espacial, destacadamente en los basados en el principio gravitatorio (Nijkamp, 1978).

En la modelación, la distancia euclidiana ha sido sustituida paulatinamente, primero por el costo de transporte, y después por el llamado “costo generalizado de transporte”, que es una función de utilidad negativa que puede incluir una diversidad de variables relacionadas con la impedancia al movimiento². En cierto sentido, se puede considerar que la distancia física se ha sustituido por la “distancia económica”, pero suponiendo que ambas mantienen una correlación positiva aceptable y que, por lo tanto, las dos reflejan el esfuerzo necesario para desplazarse a través del espacio geográfico.

Por lo anterior, en ausencia de información que permita construir indicadores más sofisticados, la hipótesis de que la distancia euclidiana es una variable válida para construir modelos gravitacionales de la distribución de viajes en una región, sigue pareciendo razonable.

Con base en tal hipótesis, en años recientes hemos probado un conjunto de modelos gravitacionales para analizar la distribución de viajes por el modo aéreo, tanto de carga como de pasajeros, en el territorio mexicano (Rico, 2001, 2008; Gradilla y Rico, 2005). Los resultados muestran, en todos los casos, que la intensidad del flujo de pasajeros y carga entre nodos es independiente de la distancia euclidiana que los separa, y en consecuencia, la hipótesis de partida ha resultado refutada con respecto a la variable distancia.

En el presente artículo se presentan los modelos utilizados, los resultados de las pruebas estadísticas de los parámetros y algunas observaciones respecto a los resultados en general.

En nuestra opinión, estos resultados se pueden considerar una posible peculiaridad del transporte aéreo, que además resulta de interés académico por varias razones, unas relacionadas en general con el marco teórico de la geografía del transporte, y otras relacionadas más específicamente con la planificación del transporte y su modelación matemática.

² Algunos ejemplos son la distancia de viaje, el tiempo de viaje, el tiempo de espera para abordar, el consumo de combustible, la tarifa, o algunas otras medidas más sofisticadas de “costo social”.



2. LOS DATOS PARA LAS MODELACIONES

La principal fuente de datos empíricos cuantitativos sobre la aviación comercial en México es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), misma que mantiene y publica anualmente una base de datos con el número de operaciones, los pasajeros y la carga que es transportada en cada par origen destino de la red federal aeroportuaria (DGAC, 2007).

La información se ofrece desagregada en las categorías internacional³ y doméstica⁴, y en las subcategorías de servicio regular⁵ y de fletamento⁶; por ello, se encuentra disponible en esos cuatro subconjuntos. Los datos utilizados en los estudios referidos previamente (Rico, 2001, 2008; Gradilla y Rico, 2005) y que se reportan en este artículo, corresponden a los años 1999, 2003 y 2007.

El objeto de estudio primario de las investigaciones que se reportan ha sido la distribución de los movimientos de carga y pasajeros en el mercado doméstico mexicano, por esta razón los movimientos internacionales han quedado excluidos de los análisis.

Dentro de los movimientos domésticos, se ha tenido la posibilidad de estudiar el comportamiento de dos mercados distintos: los servicios regulares y los de fletamento, ambos casos se han analizado; sin embargo, la mayoría de los estudios se han enfocado en mayor medida en los servicios regulares, debido a que éstos son notablemente más cuantiosos⁷ e importantes.

La intensidad de flujo de carga y pasajeros que se observa en los arcos de la red es muy heterogénea y se ajusta con precisión a la conocida curva 80/20 de Wilfredo Pareto (Rico, 2001), de tal manera que cerca del 80% de la movilidad se concentra en el 20% de los arcos más importantes. Extendiendo el análisis se encuentra que el 95% de los movimientos utiliza el 50% de los arcos, correspondiendo a la mitad restante sólo el 5% de los pasajeros y la carga. Estas relaciones se mantienen prácticamente constantes en todos los años analizados⁸.

Siguiendo el criterio de clasificación propuesto por Ballou (2004), hemos elegido las redes que atienden el 95% de la movilidad, y sólo en el caso del estudio con datos de 1999 (Rico, 2001) se eligió la red que atiende el 80%. Esta selección facilita el tratamiento analítico y se considera que favorece la modelación gravitacional, puesto que aumenta la homogeneidad y estabilidad de los movimientos estudiados.

3. MODELOS UTILIZADOS EN LAS INVESTIGACIONES

Los análisis de distribución de viajes realizados, no forman parte de estudios de demanda de transporte que incluyan la secuencia clásica de cuatro fases (generación – atracción, distribución de viajes, selección modal, y asignación a ruta); en consecuencia, los modelos

³ Servicio internacional. Comprende todas las operaciones realizadas entre un punto del territorio mexicano y uno del extranjero (DGAC, 2007b).

⁴ Servicio doméstico. Comprende todas las operaciones realizadas entre puntos del territorio mexicano (DGAC, 2007b).

⁵ Servicio regular. Es el servicio aéreo que está sujeto a itinerarios, frecuencias de vuelos y horarios (DGAC, 2007b).

⁶ Servicio de fletamento. Es el servicio aéreo que no está sujeto a itinerarios, frecuencias de vuelos y horarios (DGAC, 2007b).

⁷ Por ejemplo, en 2007 los servicios de transporte de pasajeros bajo la modalidad de fletamento sólo acumularon el 2.5% del total.

⁸ Por ejemplo, en 2007 la red doméstica de servicios regulares de transporte de pasajeros estuvo integrada por un total de 61 aeropuertos y 533 enlaces diferentes. El 95% de los movimientos se concentró en los 244 arcos principales (el 45.8%), mismos que interconectaron un total de 51 aeropuertos (Rico, 2008).



no han requerido ser acotados para satisfacer las restricciones de ajuste a una matriz origen – destino, misma que convencionalmente se estima previamente al modelo de distribución, por medio de modelos de generación y atracción de viajes (Ortúzar y Willumsen, 1994).

La estructura matemática planteada pretende respetar las relaciones conceptuales del modelo gravitacional, pero con una forma funcional que permita la obtención de los parámetros del modelo mediante la técnica de optimización mínimo – cuadrática.

El modelo utilizado en los primeros estudios (Rico, 2001; Gradilla y Rico, 2005) se aplicó exclusivamente a movimientos de carga y fue propuesto por Rico (2001), con base en un modelo planteado previamente por Taaffe, Gauthier y O’Kelly (1996), con la siguiente estructura matemática:

$$V_{ij} = \alpha \cdot [VG_i \cdot VA_j]^\beta \cdot D_{ij}^\delta \quad (1)$$

donde

V_{ij}	flujo de carga entre el nodo i-ésimo y el nodo j-ésimo
α	parámetro a obtener por calibración
$[VG_i \cdot VA_j]$	producto de la carga generada en el nodo i-ésimo por la carga atraída en el nodo j-ésimo
β	parámetro a obtener por calibración
D_{ij}	distancia euclidiana entre el nodo i-ésimo y el nodo j-ésimo
δ	parámetro a obtener por calibración

Este modelo conserva la estructura gravitatoria clásica mediante la utilización del producto de los factores potenciales como variable explicativa, además del factor de impedancia, que en este caso corresponde a la distancia euclidiana. Por la analogía gravitacional, el signo esperado del exponente δ es negativo.

En la investigación más reciente (Rico, 2008) los datos utilizados fueron exclusivamente sobre el movimiento de pasajeros en el año 2007 y se ha realizado una ligera modificación del modelo anterior, quedando con la siguiente estructura matemática:

$$V_{ij} = \alpha \cdot (VG_i)^\beta \cdot (VA_j)^\varphi \cdot D_{ij}^\delta \quad (2)$$

donde

V_{ij}	flujo de pasajeros entre el nodo i-ésimo y el nodo j-ésimo
α	parámetro a obtener por calibración
VG_i	pasajeros generados por el nodo i-ésimo
β	parámetro a obtener por calibración
VA_j	pasajeros atraídos por el nodo j-ésimo
φ	parámetro a obtener por calibración
D_{ij}	distancia euclidiana entre el nodo i-ésimo y el nodo j-ésimo
δ	parámetro a obtener por calibración

En nuestra opinión, la función (2) presenta algunas ventajas respecto al modelo previo (1), una de ellas es que “aisla” el efecto de cada una de las variables explicativas, con lo cual permite un análisis más preciso de su comportamiento individual. Una segunda ventaja radica en que la forma log-lineal de la función [ecuación (3)] se apega con mayor bondad al modelo clásico de regresión lineal múltiple [ecuación (4)], que ha sido utilizado para el cálculo de los parámetros.



Otra ventaja adicional, que puede ofrecer oportunidades de investigación en paralelo, es que la ecuación (2) tiene la forma de una función de demanda de transporte tipo Kraft (Khisty, 1990; Sinha y Labi, 2007) en la que la elasticidad de la intensidad de flujo de transporte, respecto a cada una de las variables explicativas, es igual al valor de los exponentes respectivos⁹.

Al obtener el logaritmo natural en ambos miembros de la ecuación (2), se obtiene la ecuación (3):

$$\ln V_{ij} = \ln \alpha + \beta \ln (VG_i) + \varphi \ln (VA_j) + \delta \ln D_{ij} \quad (3)$$

La ecuación (3) tiene la forma de una ecuación de regresión lineal múltiple (Infante y Zárate, 1990):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (4)$$

Los mejores estimadores de los parámetros (ordenada al origen y coeficientes) de la ecuación de regresión lineal múltiple se obtienen a partir de un conjunto de datos empíricos, por medio del método de los mínimos cuadrados (Infante y Zárate, 1990), con lo cual se llega a la ecuación:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 \quad (5)$$

4. PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LOS PARÁMETROS

La estimación de los parámetros por mínimos cuadrados ofrece una sólida batería de pruebas estadísticas que permiten evaluar su calidad, así como la bondad de ajuste de la regresión respecto a la dispersión de los datos.

En los estudios que hemos realizado, utilizamos las dos pruebas de hipótesis típicas para verificar la significancia de los parámetros de la regresión: la prueba t (individual) y la prueba F (grupal), que se aplica mediante un análisis de varianza.

Con base en el teorema del límite central se puede demostrar (Infante y Zárate, 1990) que los estimadores mínimo cuadráticos de los parámetros de regresión tienen distribución de probabilidades Normal, de tal manera que, mediante la distribución t de student, se puede contrastar hipótesis nulas y alternas del tipo:

$H_0 : \beta_i = \beta_i^*$ en oposición a $H_a : \beta_i \neq \beta_i^*$ ($i = 0, 1, 2, 3$), utilizando el estadístico de prueba:

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_i - \beta_i^*}{S_{\hat{\beta}_i}} \quad (i = 0, 1, 2, 3), \text{ de acuerdo con la regla de decisión:}$$

Rechazar H_0 si $t_0 \geq t_{\alpha/2}(n-2)$ o si $t_0 \leq -t_{\alpha/2}(n-2)$

⁹ En la función tipo Kraft $V(X) = k \prod_{i=1}^n X_i^{C_i}$ se puede demostrar que la elasticidad de $V(X)$ respecto a cada una

de las variables X_i es igual a $\varepsilon_{X_i}(V) = \frac{X_i}{V} \frac{\partial V(X)}{\partial X_i} = C_i$



La prueba de hipótesis verifica: $H_0 : \beta_i = 0$ en oposición a $H_a : \beta_i \neq 0$ ($i = 0, 1, 2, 3$), considerando que en el caso de que no se pueda rechazar la hipótesis nula, el resultado puede interpretarse en el sentido de que la variable explicativa cuyo coeficiente es cero no es significativa en la explicación de la variable dependiente.

Por otra parte, se puede demostrar (Infante y Zárate, 1990) que el estadístico¹⁰:

$$F_0 = \frac{\frac{\text{S. C. REGRESIÓN}}{\sigma^2(1)}}{\frac{\text{S. C. ERROR}}{\sigma^2(n-2)}}$$

tiene distribución F con 1 y (n - 2) grados de libertad, y que una prueba con nivel de significancia α para $H_0: \beta_i = 0$ en oposición a $H_a: \beta_i \neq 0$ se obtiene mediante la regla de decisión:

Rechazar H_0 si: $F_o \geq F_{n-2, \alpha}^1$

Se acostumbra presentar los resultados de esta prueba mediante una tabla de análisis de varianza.

5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE Y DE LAS PRUEBAS PARAMÉTRICAS

La tabla 1 muestra un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación general del desempeño de las regresiones múltiples realizadas por Rico (2001, 2008) y Gradilla y Rico (2005). Conviene señalar que los estudios publicados en 2001 y 2005 se refieren exclusivamente a movimientos de carga; en cambio, el estudio más reciente, publicado en 2008, se refiere al movimiento de pasajeros en servicios regulares. En los primeros estudios (2001 y 2005) se utilizó la ecuación (1) y en el estudio de 2008 se utilizó la ecuación (2).

En la tabla 2 se presentan los valores del estadístico t y las áreas bajo la curva de la función de densidad de esta distribución, que corresponden a la probabilidad de que la hipótesis nula $H_0 : \beta_i = 0$ sea verdadera, para cada uno de los parámetros de las ecuaciones (1) y (2).

Finalmente, la tabla 3 presenta tanto los valores empíricos del estadístico F (calculados a partir de los datos), como los valores críticos, que son calculados por medio de la distribución teórica. La prueba de análisis de varianza verifica la hipótesis nula de que alguno de los parámetros no es significativo (por ser igual a cero) y se considera que ofrece una medida del desempeño de los parámetros en conjunto. En este caso se compara el valor empírico de F con el correspondiente teórico, verificando que el primero sea mayor que el segundo para que la prueba sustente el rechazo de la hipótesis nula.

¹⁰ S. C. significa "suma de cuadrados".



Tabla 1. Valores de los indicadores generales de desempeño del análisis de regresión múltiple para la distribución de movimientos de carga en los años 1999 y 2003 y de pasajeros en 2007.

Año	Datos	Movilidad considerada	Coefficiente de correlación múltiple	Coefficiente de determinación R^2
1999	40	80 % de regulares	0.7702	0.5932
2003	110	95 % de regulares	0.8718	0.7600
2003	22	95% de fletamento	0.8100	0.6561
2003	130	95 % del total	0.8495	0.7218
2007	244	95 % de regulares	0.8213	0.6745

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Valores del estadístico t en la prueba paramétrica de las ecuaciones de regresión múltiple para la distribución de movimientos de carga en los años 1999 y 2003 y de pasajeros en 2007.

Año	Movilidad considerada	Parámetro	Valor de t	Probabilidad de que H_0 sea verdadera
1999	80 % de los servicios regulares	α	-1.82	0.076
		β	7.17	1.65×10^{-8}
		δ	1.60	0.116
2003	95 % de los servicios regulares	α	-6.81	5.74×10^{-10}
		β	18.36	7.35×10^{-35}
		δ	1.03	0.303
2003	95% de los servicios de fletamento	α	1.33	0.199
		β	5.25	4.52×10^{-5}
		δ	-2.10	0.049
2003	95 % del total (regular y fletamento)	α	-5.06	1.42×10^{-6}
		β	18.13	4.74×10^{-37}
		δ	-1.46	0.145
2007	95 % de los servicios regulares de pasajeros	α	-7.20	7.53×10^{-12}
		β	20.81	1.09×10^{-55}
		φ	20.86	7.76×10^{-56}
		δ	-0.384	0.701

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Valores del estadístico F en el análisis de varianza de las regresiones múltiples para la distribución de movimientos de carga en los años 1999 y 2003 y de pasajeros en 2007.

Año	Movilidad considerada	Valor obtenido para el estadístico F	Valor crítico de F
1999	80 % de regulares	26.98	5.9×10^{-8}
2003	95 % de regulares	169.50	6.8×10^{-34}
2003	95% de fletamento	18.12	3.9×10^{-5}
2003	95 % del total	164.76	5.2×10^{-36}
2007	95 % de regulares	165.82	3.2×10^{-58}

Fuente: elaboración propia.



6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Con base en los indicadores globales del desempeño estadístico de las ecuaciones de regresión múltiple y del resultado de la evaluación paramétrica, especialmente la prueba F, se puede considerar que los resultados de las modelaciones son satisfactorios en términos generales.

Los coeficientes de determinación indican que los modelos utilizados explican adecuadamente el comportamiento aleatorio de la mayoría de los datos empíricos; en la tabla 1 se puede observar que esta proporción va del 59.3% al 76%. Por su parte, el valor del coeficiente de correlación múltiple varía en el rango del 0.77 al 0.87, lo cual indica que el conjunto de variables independientes tiene un buen comportamiento lineal respecto a las variaciones de la variable dependiente.

Las pruebas de hipótesis para la evaluación de los parámetros de las regresiones ofrecen resultados que resultan complementarios para la obtención de conclusiones.

La prueba F sugiere un buen potencial de las variables independientes para explicar el comportamiento de la variable dependiente, sin distinguir entre ellas, dado su carácter de prueba de comportamiento en grupo.

La prueba t, en su carácter de prueba individual, confirma los resultados de la prueba F en lo que respecta al buen comportamiento de los pasajeros generados y atraídos en los nodos, como variables explicativas de la variable dependiente; pero también ofrece evidencia estadística de que el desempeño de la variable distancia es muy pobre en los modelos, de tal manera que la probabilidad de que su coeficiente sea igual a cero es muy alta en la mayoría de las ecuaciones de regresión, como se puede verificar en la tabla 4.

Tabla 4: Resumen de resultados de la prueba t para el coeficiente δ

Año de los datos	Movimientos incluidos (domésticos)	Signo y valor de δ	Probabilidad de no rechazo para $H_0: \delta = 0$
1999	80% regulares (carga)	+ 0.1919	0.1162
2003	95% del total (carga)	- 0.1359	0.1456
2003	95% regulares (carga)	+ 0.0831	0.3035
2003	95% fletamento (carga)	- 0.5604	0.0492
2007	95 % regulares (pasajeros)	-0.0203	0.7010

Fuente: elaboración propia.

En la misma tabla 4 se puede observar que el único caso que se encuentra ligeramente fuera de la zona de no rechazo para la hipótesis nula (aceptación del parámetro) es el de los movimientos de fletamento en el año 2003. En los otros cuatro casos no se puede sostener, con un 95% de confianza, que el verdadero valor del coeficiente sea diferente de cero, especialmente en el caso de los movimientos de pasajeros, en el que la probabilidad de aceptación de la hipótesis nula es especialmente alta.

En la tabla 4 también se puede verificar otro resultado de gran relevancia para la verificación del principio gravitacional: el signo del exponente. De acuerdo con el marco teórico de la geografía y de la economía del transporte, se espera que el signo del exponente sea negativo, lo cual no se cumple en dos de los casos. En estos dos modelos, el signo del exponente indica que la distancia actúa como un elemento "promotor" de los viajes, o en otras palabras, a mayores distancias aumenta la intensidad de uso de este modo de transporte.



Una de las conclusiones es que los viajes generados en los orígenes, y los viajes atraídos por los destinos, son variables con un alto potencial para explicar la intensidad de flujo de pasajeros en los corredores que los unen. No así la distancia euclidiana que los separa. De hecho los resultados de la prueba *t* sugieren que la omisión de la variable distancia no tendría un efecto importante en la eficiencia del modelo para reproducir el comportamiento del fenómeno estudiado.

El hecho de que no pueda afirmarse que el coeficiente (o exponente en la función original) δ tiene un valor distinto de cero, implica que la intensidad del flujo de mercancías entre dos puntos cualesquiera de la red de transporte aéreo, no puede explicarse con base en su posición relativa dentro del espacio geográfico.

La baja relación encontrada entre la intensidad del flujo y la distancia se enfrenta al paradigma de comportamiento de la movilidad en el espacio geográfico, puesto que normalmente se considera que la distancia es un fuerte factor disuasivo, o dicho de otra forma, es un factor que reduce la accesibilidad, entendiendo por accesibilidad “la capacidad de un lugar (o localidad) para ser alcanzado desde otros lugares, o para alcanzar otros lugares” (Rodríguez *et al.*, 2006).

El comportamiento gravitatorio también responde a una lógica económica, ya que es razonable suponer que la distancia refleja el esfuerzo requerido para superar el espacio que separa a origen y destino, y que, en consecuencia, se encuentra correlacionada positivamente con el costo generalizado de transporte (la distancia económica), que en última instancia determina la conveniencia o inconveniencia del intercambio comercial, de acuerdo con el principio de transferibilidad de Ullman (Black, 2003).

En este sentido, es muy importante considerar la influencia que tienen los modos alternos de transporte disponibles para los usuarios del sistema, especialmente el autotransporte. Las características económicas de cada modo les brindan nichos de competitividad asociados a intervalos de distancia de viaje, de tal manera que en las distancias relativamente cortas el autotransporte es prácticamente insuperable para el transporte aéreo, lo cual se refleja en que casi no hay registros de operaciones aéreas en intervalos menores a los 200 km (Rico, 2008).

Dicha situación altera el comportamiento de la curva de demanda de transporte aéreo en función de la distancia, puesto que para distancias cortas, en vez de presentarse valores altos, como se espera de acuerdo con la Figura 1, se registran valores muy cercanos a cero. Este comportamiento de las variables se traduce en una baja correlación matemática que se refleja en el análisis de regresión.

En consecuencia, la baja relación explicativa entre la distancia de viaje y la intensidad de los flujos en el transporte aéreo también es una consecuencia de las características económico-tecnológicas de este modo de transporte, que es más competitivo a mayor distancia; pero también de las características del autotransporte, que es la alternativa natural para cortas distancias y un fuerte competidor para distancias medias.

En nuestra opinión esta segunda explicación se convierte en una hipótesis de trabajo que abre una agenda para investigaciones posteriores.

7. CONCLUSIONES

En el Instituto Mexicano del Transporte se han realizado una serie de trabajos de investigación sobre la distribución de los movimientos de transporte aéreo de carga y pasajeros en el espacio geográfico mexicano.



Los modelos utilizados han sido del tipo gravitacional no restringido, con una forma algebraica que permite la calibración de los parámetros por medio de la técnica de los mínimos cuadrados.

La estimación mínimo cuadrática de los parámetros ofrece una sólida batería de pruebas estadísticas que permiten evaluar su calidad, así como la bondad de ajuste de la regresión respecto a la dispersión de los datos. En los estudios realizados se han utilizado las dos pruebas de hipótesis convencionales para verificar la significancia de los parámetros: la prueba t (individual) y la prueba F (grupal), que se aplica mediante un análisis de varianza.

Con base en los indicadores globales del desempeño estadístico de las ecuaciones de regresión múltiple y del resultado de la evaluación paramétrica, especialmente la prueba F, se puede considerar que los resultados de las modelaciones son satisfactorios en términos generales. Los coeficientes de determinación indican que los modelos explican adecuadamente el comportamiento aleatorio de la mayoría de los datos empíricos y el valor del coeficiente de correlación múltiple de Pearson indica que el conjunto de variables independientes tiene un buen comportamiento lineal respecto a las variaciones de la variable dependiente.

La prueba t confirma los resultados de la prueba F, pero además ofrece evidencia estadística de que el desempeño de la variable distancia es muy pobre en los modelos, de tal manera que la probabilidad de que su coeficiente sea igual a cero es muy alta para la mayoría de las ecuaciones de regresión.

Se concluye que los viajes generados en los orígenes, y los viajes atraídos por los destinos, son variables con un alto potencial para explicar la intensidad de flujo de pasajeros en los corredores que los unen, no así la distancia euclidiana que los separa. De hecho los resultados de la prueba t sugieren que la omisión de la variable distancia no tendría un efecto importante en la eficiencia del modelo para reproducir el comportamiento del fenómeno estudiado.

El hecho de que no pueda afirmarse que el coeficiente (o exponente en la función original) δ tiene un valor distinto de cero, implica que la intensidad del flujo de mercancías entre dos puntos cualesquiera de la red de transporte aéreo, no puede explicarse con base en su posición relativa dentro del espacio geográfico.

Esta peculiaridad se explica por las características tecnológicas y económicas del transporte aéreo, que le brindan una mayor competitividad en viajes de mayor longitud; pero también por la presencia del autotransporte, cuyas características lo hacen el modo de primera elección en viajes cortos y un fuerte competidor en distancias medias.

Dicha competencia económica altera el comportamiento de la curva de demanda de transporte aéreo en función de la distancia, puesto que para distancias cortas se registran valores muy cercanos a cero. Este comportamiento de las variables se traduce en una baja correlación matemática que complica la utilización de la distancia de viaje como variable explicativa de la intensidad de los flujos de transporte aéreo.

REFERENCIAS

BALLOU, Ronald H. *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Quinta edición. México: Pearson Educación, 2004.

BLACK, William. *Transportation: A geographical analysis*. New York: Guilford Publications, 2003.



DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL (DGAC). 2007. Web page [en línea]. Disponible en: <<http://dgac.sct.gob.mx>>

GRADILLA HERNÁNDEZ, L. A.; RICO GALEANA, O. A. *Análisis espacial de la distribución de la carga transportada por aire en México*. Publicación Técnica No. 269. México: Instituto Mexicano del Transporte, 2005.

HOYLE, B. S. y KNOWLES, R. D. *Modern Transport Geography*. London: Belhaven Press, 1992.

INFANTE GIL, Said y ZÁRATE DE LARA, Guillermo P. *Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario*. 2ª ed., México: Editorial Trillas, 1990.

KHISTY, C. Jotin. *Transportation Engineering: an introduction*. New Jersey: Prentice-Hall Inc. Englewood, Cliffs, 1990.

NIJKAMP, P. "Gravity and entropy models: the state of the art". En: *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. La Haya, Holanda. 1978.

ORTÚZAR, J. de D. y WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. 2nd. Ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1994.

POTRYKOWSKI, M. y TAYLOR, Z. *Geografía del Transporte*, Ariel Geografía, Barcelona: Editorial Ariel, 1984.

RICO GALEANA, O. A. *El transporte aéreo de carga doméstica en México*. Publicación Técnica No. 168. México: Instituto Mexicano del Transporte, 2001.

RICO GALEANA, O. A. *Análisis espacial del transporte aéreo de carga en México*. Publicación Técnica No. 264. México: Instituto Mexicano del Transporte, 2005.

RICO GALEANA, O. A. *Análisis gravitacional de la movilidad de pasajeros en la red doméstica de transporte aéreo en México*. Publicación Técnica 320. México: Instituto Mexicano del Transporte, 2008.

RODRIGUE, Jean-Paul, COMTOIS, Claude y SLACK, Brian *The Geography of Transport Systems*. Oxon: Routledge, Abingdon, 2006.

SINHA, Kumares C. y LABI, Samuel. *Transportation Decision Making: Principles of Project Evaluation and Programming*. John Wiley & Sons, 2007.

TAAFFE, Edward, GAUTHIER, Howard y O'KELLY, Morton. *Geography of Transportation*. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River, 1996.



Óscar Armando Rico Galeana (orico@imt.mx).

Ingeniero de Transporte por el Instituto Politécnico Nacional (México) y Maestro en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México. Cursó estudios de especialización en el ministerio de transporte de Japón. Profesor de tiempo parcial en la Universidad Autónoma de Querétaro e investigador titular de tiempo completo en el Instituto Mexicano del Transporte. Miembro de la mesa directiva de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo (RIDITA).